

PENINGKATAN KUAT GESER TANAH MELALUI PRESIPITASI KALSIT PADA VARIASI KEPADATAN RELATIF, DERAJAT KEJENUHAN, DAN UKURAN BUTIR PASIR

NIHO VEGALIANY AGNESIA



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Peningkatan Kuat Geser Tanah melalui Presipitasi Kalsit pada Variasi Kepadatan Relatif, Derajat Kejenuhan, dan Ukuran Butir Pasir” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Niho Vegaliany Agnesia
F0507251024

RINGKASAN

NIHO VEGALIANY AGNESIA. Peningkatan Kuat Geser Tanah melalui Presipitasi Kalsit pada Variasi Kepadatan Relatif, Derajat Kejenuhan, dan Ukuran Butir Pasir. Dibimbing oleh HERIANSYAH PUTRA dan ERIZAL.

Presipitasi kalsit merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang mampu meningkatkan kuat geser tanah pasir melalui pembentukan kristal kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai pengikat antarbutir. Metode *Soybean Crude Urease- Calcite Precipitation* (SCU-CP) dikembangkan sebagai alternatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan metode stabilisasi konvensional. Efektivitas biosementasi dipengaruhi oleh karakteristik larutan maupun kondisi tanah, seperti kepadatan relatif (DR), derajat kejenuhan (SR), ukuran butir, dan konsentrasi reagen. Oleh karena itu, kajian dilakukan untuk menentukan kondisi optimum peningkatan kuat geser tanah pasir serta menganalisis hubungan antarparameter yang memengaruhinya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi kepadatan relatif, derajat kejenuhan, ukuran butir, dan konsentrasi reagen terhadap peningkatan kuat geser tanah pasir menggunakan metode SCU-CP, serta mengembangkan model berbasis analisis statistik untuk memprediksi nilai kohesi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan reagen 1 mol/L menghasilkan rasio presipitasi sebesar 92,25%, laju hidrolisis sebesar 536 U/g, pH optimum 8,9-9,2, viskositas sebesar 5,17 cP, dan kadar kalsit hasil presipitasi sebesar 69,62%. Kandungan CaCO_3 pada tanah berada pada kisaran 2,04-3,88%, sedangkan kohesi tertinggi sebesar 16,61 kPa diperoleh pada kondisi DR 70%, SR 0%, pasir sedang, dan reagen 1 mol/L. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) mengonfirmasi terbentuknya mineral kalsit, aragonit, dan vaterit yang membentuk ikatan sementasi antarpartikel. Analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa kandungan CaCO_3 memiliki hubungan positif paling kuat terhadap kohesi dengan koefisien 0,76, diikuti kepadatan relatif sebesar 0,38, sedangkan derajat kejenuhan dan ukuran butir menunjukkan korelasi negatif masing-masing sebesar -0,27. Analisis *feature importance* menempatkan kandungan CaCO_3 sebagai parameter paling dominan dengan nilai 0,699, diikuti ukuran butir (0,123), derajat kejenuhan (0,095), dan kepadatan relatif (0,083). Model regresi yang dikembangkan menunjukkan kemampuan prediksi yang sangat baik dengan nilai R^2 sebesar 0,9803, RMSE sebesar 1,11, dan MAE sebesar 1,38. Efektivitas metode SCU-CP tidak hanya ditentukan oleh jumlah CaCO_3 yang terbentuk, tetapi juga oleh distribusinya di dalam matriks tanah yang dipengaruhi oleh kepadatan relatif, derajat kejenuhan, ukuran butir, dan konsentrasi reagen. Kombinasi DR 70%, SR 0%, pasir sedang, dan reagen 1 mol/L memberikan kondisi optimum dalam meningkatkan kohesi tanah pasir. Model yang dikembangkan mampu memprediksi kohesi dengan akurasi tinggi sehingga berpotensi mendukung penerapan metode SCU-CP pada perencanaan perbaikan tanah pasir.

Kata Kunci: kuat geser tanah, mineralogi, morfologi, pasir, presipitasi kalsit

SUMMARY

NIHO VEGALIAN AGNESIA. Soil Shear Strength Improvement through Calcite Precipitation at Variations of Relative Density, Degree of Saturation, and Sand Grain Size. Supervised by HERIANSYAH PUTRA and ERIZAL.

Calcite precipitation is one of the soil improvement methods that can increase the shear strength of sandy soil through the formation of calcium carbonate (CaCO_3) crystals as inter-grain binders. The Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation (SCU-CP) method was developed as a more economical and environmentally friendly alternative to conventional stabilization methods. The effectiveness of biocementation is influenced by the characteristics of the solution and soil conditions, such as relative density (DR), degree of saturation (SR), grain size, and reagent concentration. This study aims to analyze the effect of variations in relative density, degree of saturation, grain size, and reagent concentration on increasing the shear strength of sand soil using the SCU-CP method, and to develop a statistical analysis-based model to predict cohesion values. The test results showed that the use of 1 mol/L reagent resulted in a precipitation ratio of 92.25%, a hydrolysis rate of 536 U/g, an optimum pH of 8.9-9.2, a viscosity of 5.17 cP, and a precipitation calcite content of 69.62%. The CaCO_3 content of the soil was in the range of 2.04-3.88%, while the highest cohesion of 16.61 kPa was obtained under conditions of 70% DR, 0% SR, medium sand, and 1 mol/L reagent. X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis confirmed the formation of calcite, aragonite, and vaterite minerals that form cementation bonds between particles. Pearson correlation analysis shows that CaCO_3 content has the strongest positive relationship to cohesion with a coefficient of 0.76, followed by relative density at 0.38, while degree of saturation and grain size show a negative correlation of -0.27 each. Feature importance analysis placed CaCO_3 content as the most dominant parameter with a value of 0.699, followed by grain size (0.123), degree of saturation (0.095), and relative density (0.083). The regression model developed showed excellent predictive ability with an R^2 value of 0.9803, RMSE of 1.11, and MAE of 1.38. The effectiveness of the SCU-CP method is not only determined by the amount of CaCO_3 formed, but also by its distribution in the soil matrix which is influenced by relative density, degree of saturation, grain size, and reagent concentration. The combination of 70% DR, 0% SR, medium sand, and 1 mol/L reagent provides the optimum condition in improving the cohesion of sandy soil. The developed model is able to predict cohesion with high accuracy, supporting the application of the SCU-CP method in sand soil improvement.

Keywords: soil shear strength, mineralogy, morphology, sand, calcite precipitation

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PENINGKATAN KUAT GESER TANAH MELALUI PRESIPITASI KALSIT PADA VARIASI KEPADATAN RELATIF, DERAJAT KEJENUHAN, DAN UKURAN PASIR

NIHO VEGALIANY AGNESIA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Magister Teknik Sipil dan Lingkungan

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
IPB UNIVERSITY
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
Prof. Dr. Ir. Asep Sapei, M.S.

Judul Tesis : Peningkatan Kuat Geser Tanah melalui Presipitasi Kalsit pada Variasi Kepadatan Relatif, Derajat Kejenuhan, dan Ukuran Butir Pasir

Nama : Niho Vegaliany Agnesia

NIM : F0507251024

Disetujui oleh

Ketua Komisi Pembimbing:

Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng.

NIP. 19900209 201803 1 001



Anggota Komisi Pembimbing:

Dr. Ir. Erizal, M.Agr., IPU

NIP. 19650106 199002 1 001



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Satyanto K. Saptomo, S. T. P., M. Si.

NIP. 19730411 200501 1 002



Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.

NIP. 19610502 198603 1 002



Tanggal Ujian: 3 Agustus 2026

Tanggal Lulus:

07 AUG 2026

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2025 sampai bulan Juli 2026 ini ialah “Peningkatan Kuat Geser Tanah melalui Presipitasi Kalsit pada Variasi Kepadatan Relatif, Derajat Kejenuhan, dan Ukuran Butir Pasir.” Terima kasih penulis ucapkan kepada pihak yang berperan dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi ini, khususnya kepada:

1. Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. dan Dr. Ir. Erizal, M.Agr., IPU. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, dukungan, kritik, dan saran dalam penelitian dan penyusunan tesis.
2. Papa, Mama, dan Adik-Adik penulis, serta keluarga besar atas dukungan, motivasi, dan doa yang senantiasa diberikan.
3. Rekan-rekan Geo-Mac yang senantiasa menemani dan membantu proses penelitian dan penyusunan tesis.
4. Nada Rain Gia, Aura Putri Zafira, Aisyah Anindita, Hasannah Alhayyu Refiyon, Laila Devi Anggita, Windyarti Mustika, Marilyn Abigail, Tesalonika Claudia, dan Michelle Claudia selaku teman-teman yang telah mendukung penulis selama proses penelitian dan pembuatan tesis.
5. N. Yosefino Rivaldo S.T., selaku partner yang telah senantiasa menyemangati, mendukung, dan kebersamai proses penyusunan tesis.
6. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan angkatan 58 (SIL 58) dan Sinergi SIL yang telah memberikan dukungan dan kebersamai selama proses perkuliahan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Niho Vegaliany Agnesia

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sifat Mekanik dan Parameter Tanah	5
2.2 Metode Perbaikan Tanah berbasis <i>Calcite Precipitation</i>	6
2.3 Parameter Larutan <i>Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation</i>	7
2.4 Kuat Geser Tanah (<i>Direct Shear Test</i>)	8
2.5 Analisis Korelasi, Kontribusi Parameter, dan Regresi Linear	9
III METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Prosedur Penelitian	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Uji <i>Properties</i> Pasir	23
4.2 Analisis Pembentukan Kalsit pada Berbagai Variasi Reagen	26
4.3 Pengujian Geser Langsung (<i>Direct Shear Test</i>) dan <i>Acid Leaching</i>	30
4.4 Analisis Mineralogi dan Morfologi	35
4.5 Analisis Korelasi dan Pemodelan Regresi	44
V SIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Simpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	57
RIWAYAT HIDUP	62



DAFTAR GAMBAR

1	Skema pembentukan kalsit pada tanah pasir	7
2	Diagram alir prosedur penelitian	12
3	Proses pembuatan larutan SCU-CP	13
4	Prosedur pengujian presipitasi kalsit	14
5	Uji kadar organik dengan <i>furnace</i>	15
6	Uji laju hidrolisis	16
7	Prosedur pengujian viskositas larutan	17
8	Pembuatan sampel metode <i>premixing</i> dan uji DST	19
9	Prosedur pengujian distribusi kalsit	19
10	Prosedur pemodelan <i>Random Forest</i>	22
11	Distribusi ukuran butir pasir	23
12	Grafik gradasi setiap variasi ukuran butir pasir	24
13	Analisis XRD pasir	25
14	Hasil pengujian presipitasi kalsit dan laju hidrolisis	27
15	Hasil pengujian larutan SCU-CP	28
16	Hasil pengujian geser langsung	30
17	Hasil pengujian distribusi CaCO_3	34
18	Analisis XRD pada larutan presipitasi SCU-CP	36
19	Hasil pengujian SEM pada variasi pasir modifikasi SCU-CP	38
20	Analisis mikrostruktural modifikasi pasir + SCU-CP reagen 1 mol/L	40
21	Analisis mikrostruktural modifikasi pasir + SCU-CP reagen 2 mol/L	42
22	Korelasi Pearson parameter tanah SCU-CP terhadap kohesi	45
23	Hubungan antara kohesi aktual dengan kohesi prediksi	49

DAFTAR TABEL

1	Klasifikasi distribusi ukuran pasir (ASTM D2487-17)	6
2	<i>Experimental condition</i> larutan SCU-CP	14
3	<i>Experimental condition</i> sampel uji	18
4	Hasil uji sifat fisik tanah	23

DAFTAR LAMPIRAN

1	Uji laju hidrolisis pengulangan 1	57
2	Uji laju hidrolisis pengulangan 2	58
3	Uji viskositas larutan SCU-CP 20 g/L	58
4	Hasil data uji pH larutan SCU-CP 20 g/L	59
5	Hasil data uji <i>acid leaching</i> DR 50%, reagen 1 mol/L	60
6	Hasil data uji <i>acid leaching</i> DR 50%, reagen 2 mol/L	60
7	Hasil data uji <i>acid leaching</i> DR 70%, reagen 1 mol/L	61
8	Hasil data uji <i>acid leaching</i> DR 70%, reagen 2 mol/L	61